

東北地方における山地気候の地理学的研究 —奥羽山脈南西部の谷における気温観測からの考察—

梅 本 亨

Geographical Study on the Mountain Climate in Tohoku District: An Observational Analysis of the Surface Temperature in a Small Valley of the Oou Mountains, Honshu Island, Japan

Tohru UMEMOTO

Many studies on the mountain weather and climate have described the relationships between the surface temperature fields and nocturnal cold drainage flows in valleys and basins. In most cases of these studies, insufficiency of the spatial data spoiled the total understanding of phenomena. Some recent observations in a small area have adopted several new methods in order to know the circulation, such as smoke-flows and visualizing equipments, infrared radiometers with graphical interfaces, gas tracers and samplers and so on. But we can hardly introduce it as a usual method into observations because of the high costs.

One of the main features of the mountain environment that attracts physical geographers is a climatic condition controlling the distribution of vegetation. We find that the same disadvantage as above also exists in this field. The distribution of meteorological observatories is very sparse in the mountainous regions. Some researchers often performed their own observation. The scale of fields in those studies were, however, small. Japanese geographers, especially in the case of climatologists, preferred to use a statistical method rather than observations. They used to apply the "Warmth Index" designed by Professor T. Kira, a well-known Japanese biologist. This index is calculated from climatic values of the monthly mean surface temperature and explains very well the macro-scale horizontal distribution of natural vegetation in the temperate and humid zone of East Asia. But it seems to lose its ability to explain in cases of the vertical transition of vegetation in micro- and meso-scale mountainous regions because of the lack of data. Climatologists have estimated the Warmth Indices, namely climatic values of surface temperatures by using the atmospheric lapse rate based upon the aerological soundings or the elevated observatory data. These meteorological data have little information of the complex terrain including mountainside slopes, valleys, and small basins. This paper describes an observation performed in the mountainside slope. This observation intends to show that the cold air pools exert marked influences on the surface temperature fields, so that the lapse rate interpolation must need more mountainside data for its improvement.

The author carried out a surface temperature observation in the late autumn of 1992 and the

whole summer of 1993, on the west-facing slope along the small valley in Mt. Amayobari (906 m) near the city of Yamagata, in the western foot of Oou Mountains. Three stations with a thermistor and a data-logger, were set up; the ridge (785 m), the hollow (550 m) and the valley (300 m). The observation period was 77-days in total. A cold air pool was formed in almost every night even in summer and the lowest temperature among three stations was recorded at the hollow one. This result suggests us that the lapse rate interpolation is useless when we estimate the mountainside surface temperature by using observation data only on the mountain top and the lowland.

《個人研究》

東北地方における山地気候の地理学的研究 —奥羽山脈南西部の谷における気温観測からの考察—

梅 本 亨

1. はじめに

日本列島の多くは山地だが、生活の基盤は平野部に集中しており、気候研究の基礎である気象観測所も平野部に偏在している。したがって、特別に観測を行ったものを除けば、これまでの諸研究は基本的な部分であるデータの空間的分布に、大きなバイアスがかかっていたことになる。筆者は、現実の気候と、海岸平野部・盆地の気象データから構築されたこれまでの気候像の間には、大きなギャップが存在する可能性があると考えた。

気象庁の地域気象観測網（AMeDAS）が運用を開始して約20年が経過したが、山地の観測網が充実したとはいえない。一方、近年のリモートセンシング技術や小型自動観測機器の進歩により、研究者が観測を行う際の労力は、10年前とは比較にならないほど軽減された。また、気象庁以外の官公庁等による観測データも、徐々にコンピュータ処理が可能な形で集計されるようになってきた。このような状況から、日本列島の気候の全体像や地域差について、山地を考慮したうえで再検討することが可能な時期になりつつある。

本論の目的は、まず最初にこれまでの諸研究の到達点を整理すること、次に山がちな東北地方を南北に走る奥羽山脈の南西部斜面において観測を実施し、気候を把握する際の問題点を、気温分布の側面から明確にすることである。

2. これまでの山地気候研究

1) 山地の小気候研究と気象学的研究

山地の気候研究には、二つの観点がある。第一の観点は山地を「複雑な起伏をもつ地表面」と考えるものである。山地には局地的な大気現象が現れ易いため、全体として地形に支配される特有の気候が展開する。第二の観点は標高そのものを重視する立場である。ロッキー山脈やチベット高原などは標高が高いため、希薄な大気による強い日射・強風・低温といった条件が重要になる。

第一の観点は、対象と方法から小気候学的研究と換言できる。対象地域の水平空間スケールは高々100 km 程度であり、土地利用や水資源開発、動植物分布の生態学的自然条件等との関わりが深い

東北地方における山地気候の地理学的研究

め、多くの分野にわたる調査・研究がある。山地の気候に関する1980年代前半までの研究成果は吉野（1986）が網羅しているので、本論では特に必要な場合を除いて言及しない。吉野（1986）は小気候について「10 m～数10 km の程度の地域について論じる（p. 2）」と記している。本論では空間スケールのオーダーを一つ上げて数100 km とし、東北地方全体を包含することを考える。

第二の観点は山地の気象学的研究である。Barry（1992）は山地気象学の教科書において、山地の気象は極地に似ているが雲の発生や降水に大きな差があり、特に谷には地形の効果によって特有の大气が形成されることを出発点に多彩な議論を展開している。また、標高が4000 m を越すような大山脈は、大きな気候界となることも指摘している。さらに、山岳の存在はその周辺地域にも大きな影響を与える。このような空間スケールにおいても、データの平地への偏在は問題となっている。例えば、Reiter et al.（1987）は、ロッキー山脈周辺において山脈が与える影響を調査したが、その際、盆地や谷間に偏在する観測所データでは不足なので特別観測を実施している。

近年、大規模な山岳が地球大気に与える影響として、風に対する障壁効果だけでなく、熱収支を通して大気大循環自体を左右することがわかってきた。この観点は、同じ山地・山岳の気候研究でありながらグローバルな視点に基づくため、吉野（1986）が小気候学の枠組みから標高の影響が支配的な「山岳」と、複雑な地形の影響が支配的な「丘陵・盆地・谷間・山麓」を区別して扱っている（pp. 131-200）のとは問題の設定が異なる。この問題における議論はモンスーン循環におけるチベット高原の役割に集中しており、熱収支解析に必要な特別観測データを使用した現実的な研究の段階に入っている（例えば Yanai et al., 1992; Smith and Shi, 1992 など）。

2) 山地の気温に関する研究

今世紀の初頭にオーストリアの von Hann は、山岳気象観測所のデータから山頂の地上気温が周囲の自由大気より低温だという直感に反するような例を示した（Barry, 1992）。この研究は多くの議論を呼び、一義的な結論がでる問題ではないことがわかってきた。標高による地上気温の変化については、Tabony（1985）が、地形の起伏の大きさ、斜面に対する風向、大気および地表面状態の年変化などが影響していることを示している。よって、それらの要素を考慮したうえで長期の観測データによる解析を行わなければ結論が出ないと思われる。他に、山地の中腹がその上部および下部より温暖（特に夜間）になるという「山腹温暖帯」の問題が、再び注目を集めている。

山地で長期間の気温観測を行うことは予想外に難しい。有人観測が最も望ましいが、労力・費用の面から数日間が限界である。無人観測の場合は長期間観測が可能になったが、データの質的な問題が残っている。一般に、地上気温は地表から1.5 m の高さに温度計センサーを設置し、一定の風速で通風して測定することになっている。気候学的研究の多くはこのルールを遵守しているが通風することは希である。山地では冬季に積雪があることが多いため、指定高を維持することさえ難しい。

しかし、このような条件下における山地の気温観測事例は着実に増加している。日本の研究者による観測例として、周氷河環境を地形学的観点から把握するために行われた大雪山の通年気象観測（曾根・高橋, 1988）、ポストモンスーン期（約1か月間）のブータンの標高1300 m から3100 m に至る谷に沿った地域の気温観測（Eguchi, 1991）、スピッツベルゲン島（北極海）の中央部山地における

通年気温観測 (Shiraiwa and Sawagaki, 1992) などがある。

日本では、地形学や雪氷学の研究者たちの観測が注目に値する。樋口 (1990)、澤口 (1992)、Shiraiwa (1992) などは地表および地下浅層物質の凍結・融解と斜面物質移動の関係を定量的に調査する目的で長期間の地温 (場合によっては気温も) 観測を実施している。また松岡 (1991) は中部山岳における地表面温度の観測値をもとに、年平均気温推定値から地盤の最大凍結・融解深度を推定する試みを行っている。

この他、気象官署のデータを使用した研究として、ピレネー山脈 (フランス) の Pic du Midi de Bigorre 観測所 (海拔2862 m) の1882年から1970年の気温を解析したものがある (Bücher and Des-sens, 1991)。また、間接的な課題として、山脈・山地が周囲の平地に与える影響を気温から導き出すものがある。山脈をはさむ両山麓で気温に大きな差が出現する原因として、フェーン現象・盆地の冷氣湖・気団の堰止め・上層の風の下降などが指摘されてきた。Tomine (1990) は日高山脈の両側の海岸部に位置する広尾と浦河の気温差を検討し、これまで特に強調される傾向にあったフェーン現象が、大きな気温差の主因ではないことを長期間データによって示している。

3) 山地の降水に関する研究

山地の降水分布を現実の地形と対比することによって、山地の影響を把握する研究は古くから行われてきた。最近では、これに上層風や大気不安定度などの要素を加味したり (Aoyama, 1985)、山地の年降水量の推定を目的に掲げ、統計モデルによって、主として標高から実際の降水分布を求める試みなどがある (Hevesi et al., 1992 a, b)。

一方、降水のメカニズムを追求する研究も進んでいる。注目すべきものとして、Rogers and Vali (1987) は山頂部にかかる雲の氷晶を飛行機によって捕獲し、積雪に覆われた山頂部地表面で作られた特異な氷晶が雲の形成に関与していると指摘している。このような雲物理過程については、山地の降水強度のシミュレーションに重要な情報を与える雨滴のサイズに関する統計的な解析もなされている (例えば Levin et al., 1991)。

4) 山地の循環系に関する研究

山地気候研究の本質は、地理学的には地形・植生・土地利用などの関わりにあるが、その基礎的な分野である気象学の立場からは循環系の把握が最も重要な課題である。循環系の研究には、山地を中心とする比較的広い地域を扱うものと、谷や盆地に焦点を絞るものがある。また、円錐形の孤立峰にぶつかる気流の変形も重要な課題だが (例えば McCutchan and Fox, 1986)、これは富士山などの植生分布問題 (例えば岡, 1980) の基礎研究となる。

広域の場合、前述のように気象観測所が盆地や谷底に偏っているため、定量的な研究は少ない。しかし、須田 (1990) は、日本の中部山岳域において AMeDAS データを十分に吟味して使用し、特に地形の凹凸や谷の方向性に注目して、従来から定性的に知られていた谷の走向と卓越風向の一致について定量的な諸特性を明らかにした。

また、長大な山脈は相対的に重たい寒気を堰止める効果をもっている。特に、北半球中緯度において北東-南西の走向をもつ山脈は、寒冷前線の走向と一致するため極立った現象を引き起こす。

東北地方における山地気候の地理学的研究

Yamakawa (1981) は山脈でもある中部日本を中心に、寒冷前線通過に伴う降水の解析を行い、山脈による寒気の堰止めを明確に図示している。アパラチア山脈も、より厳しい同様の条件下にあるため研究が多く、Bell and Bosart (1988) の解析的業績や、Xu (1990) の理論的業績などがある。

盆地や谷の循環系については、観測的研究が多い。鈴木・他 (1985) は寒河江川 (山形県) の谷において、冷気の間欠的な流下に伴うと考えられる夜間の気温の周期的な変動を報告している。この「間欠的な流下・周期的変動」の問題について、山腹斜面や支谷からの冷気の供給と谷の冷気流の関係を観測によって把握することを直接の目的とした研究は比較的最近のものが多い。青山 (1984) は猪苗代湖北岸から磐梯山にかけての地域で斜面に沿った気象観測を行い、夜間の逆転層の発達過程に三つのステージを確認した。その第二ステージ (逆転層形成以降の深夜) において周期的な山風によって盆地の逆転層に比較的激しい気温変動が現れることを指摘した。Coulter et al. (1991) は、1988年にアメリカで実施された ASCOT 計画 (複雑地形上の大気研究計画) の目的の一つが、谷の冷気流涵養に支谷からの流れがどう貢献するのかを知ることであると述べている。また Porch et al. (1991) はコロラドの山地においてドップラーソーダーを用いて谷の気流の夜間観測を行い、風速のスペクトル解析結果から、約20分の周期が卓越すること、支流と本流の変動がよく対応していること、および位相から支流の変動が本流の変動に先行することを示した。

このような研究は、明確な現象を捉えるために静穏な夜間を選んで観測するのが通例となっている。これに対し、Orgill et al. (1992) は谷に形成蓄積される冷気層と周辺の風速の関係を詳しく調査した。その結果、静穏な夜間に形成される冷気層の深さは谷の深さとはほぼ一致するが、風速が 5 m/s を越えると谷の深さの半分程度まで上空の風によって上部が「侵食」されることを示している。循環の数値シミュレーションもいろいろなスケールで行われている。夜間の循環については Gudiksen et al. (1992) のものが、また昼間の循環については Moore et al. (1987) の乾燥大気によるメソスケールの研究などが例として挙げられる。

盆地における冷気湖の形成に関する研究は、大気汚染などとの関連から、山地気候研究の重要課題の一つである。冷気湖は、夜間の盆地底地表面の放射冷却に伴う接地気層の冷却に加えて、周囲の斜面から重力によって冷気が流下し盆地に堆積することによって形成される。もし、この冷気流が断熱的に斜面を下降すると、乾燥断熱減率で昇温してしまう。よって、流下しながら非断熱的に冷却される必要がある。これはすでに吉野 (1986) によって「流れる間に地面からつねに冷却されるので… (p. 162)」と指摘されているが、定量的な調査はあまりない。Vergeiner et al. (1987) は谷の冷却に関する観測とモデル計算によって、下降気流の断熱昇温は非断熱的な冷却によってキャンセルされ、正味では冷却のモードになることを示した。また Kondo et al. (1989) は会津盆地において放射観測を行い、夜間には周囲の斜面からの冷気の移流によって、盆地底の冷気層が厚くなり冷却率を高めていると述べている。

斜面を流下する冷気流の把握方法としては、発煙筒などを使用して可視化することが日本においても行われてきた。しかし、広域への適用や定量的な測定はほとんどなかった。アメリカではこれが大規模に行われている。コロラド西部における1984年の観測では、夜間にサーチライトと煙を使用し

て冷気流を可視化し、かつ観測地に気象観測塔・リモートセンシング機器等を設置して定量的な観測が実施されている (Porch et al., 1989)。また, Allwine et al. (1992) はアパラチア山脈東斜面において六フッ化イオウ (空気より重い気体) をトレーサーとして, 盆地の冷気湖の形成から消滅の過程を観測している。このような手法は日本のように山地でも人家の多い地域では, 難しいと思われる。反面, そのような心配のない熱映像や衛星データを使用した気温分布に関する研究が農業気象の研究者によって行われるようになってきた (松岡・他, 1992; 黒瀬・林, 1993など)。

5) その他の山地気候に関する研究

以上の他に, 山地気候の把握そのものを目的とはしていないが密接に関連する分野として, 森林の水文気象および植生分布に関する研究がある。前者は積雪を考慮した熱収支に重点を置いているところに特徴があり (近藤・他, 1992; 太田, 1992; Yamazaki and Kondo, 1992など), 日本の山地気候に関する今後の地理学的研究に影響を与えていくものと思われる。

後者についてはミクロな地域を扱うものと, 日本列島といった広域を扱うものがあり, その中間の空間的スケールのものは見あたらない。ミクロな視点に立つ研究の大半は農業気象学的な研究で, 圃場における農作物を扱ったものなのでここでは触れない。自然植生に関する植物生態学的な記述のなかで, 柴田 (1985) は東北地方の風穴植生を挙げている。この「風穴」がどのようなものを指すのか明らかではないが, おそらく東北山地の地滑り地域に多い凹地のことであると思われる。本論の後半で扱う気温観測もそのような凹地における例である。山地の凹地に, 冷気湖の低温によると考えられる局地的な植生が成立することは多く, 例えば八ヶ岳北部における「気候コロキウム・凹地研究会」の共同調査報告などがある (梅本, 1989)。

広域の植生に関する海外の研究は Barry (1992) に紹介されているのでここでは言及しない。日本においては, すでに今西 (1933) がかの Köppen にならって観測所データと標高および気温減率から, 森林限界高度と深く関係する雪線高度を推定している。この方法はその後も広く採用されており, 最近の研究には青山 (1986) による東北日本における「吉良竜夫の温量指数 (暖かさの指数・寒さの指数)」の算定, 青山・岡 (1989) の任意地点での温量指数の計算方法の研究などがある。現実の植生分布との対応は, 森林限界高度については岡 (1991) が, また東北日本の落葉広葉樹林 (ブナ帯) および若干の樹種の上・下限については, 大森・柳町 (1988, 1990) がそれぞれ詳細な議論を展開している。

3. 山地気候に関する地理学的問題点

山地気候は, 山地そのものの性格によって大きく異なる。ヒマラヤ山脈の気候と東北山地の気候を同列に扱うことはできない。東北山地のようにあまり急峻でない山域では, 小規模な地形による細かい気候差が相対的に重要である。特に冷気流に注目すると, 小規模な谷・盆地 (凹地) の配置とその標高が問題となる。これはいわゆるトポクライメット (topoclimate) の概念に結びつくが, 微細な地形に対する大気の応答は必ずしも安定したものではないので本研究ではこだわらない。

東北地方における山地気候の地理学的研究

自然地理学的には植生と気候（特に気温分布）の対応が最も重要な問題である。さらに、寒候期における山地の積雪も重要な課題となる。また、特に暖候期の問題として比較的標高の低い東北山地にかかる雲（霧も含む）による日照の障害も重要である。これらは中部山岳や北海道の山地にも基本的には共通する問題なので、例えば最終氷期における山岳氷河の末端が谷のどこまで達していたかについて、有力な情報を与える可能性がある。谷の気温は、暖候期においては夜間の冷氣流の存在、昼間に山稜の日陰になること、谷風に伴う積雲の発生による日照不足などによって、標高の割には低温であると考えられる。この問題は地形学的な調査の進展を待って改めて議論したい。

これらの問題は、気象学的には循環系の把握に集約されるが、自然地理学的には気温分布が特に重要なものとなる。前述のように山地には長期の観測データが少ないので、山頂や山腹の気温は、周囲の標高が低い場所の地上気温観測データから気温減率によって推定されてきた。この方法論は現在でも生きており、気温減率に高層気象観測による自由大気データを用いるか、平地と山頂付近の観測データから経験的に求めた「気温減率」を用いるかの違いがあるに過ぎない。循環系の把握を目的とする気象学者はこの方法を避けることが多く、係留気球によって上空数100 m までの気温分布を実測することが普通である。

日本において、山地の気温分布が植生分布の説明変量として議論されてきたことには大きな問題がある。グローバルにみた場合に日本が位置する気候帯においては、日本の山地の規模（特に標高）が小さいため、植生の垂直分帯が明確に認識されるのは森林限界だけであろう。そもそも植生帯の環境条件には、気温に関して大きな幅があるため、森林限界のような明確な現象でさえ気温分布だけで説明することは困難である。さらに現在の気候下では森林限界は山頂・稜線に近いので、雪の吹き溜まりや強風および乾燥など、直接気温分布とは関係ない要因が効いているものと思われる。

しかし、特定の山域だけを扱うのであれば、気温減率の使用は有効な手段となる。ただし、別の問題がある。気温減率とは気象学の概念であり、少なくとも現在は、地表から鉛直上方へ向かう場合の気温の変化率と定義されるものである。つまり、平地から山腹を経て山頂へ至る地表に沿って測定した地上気温の変化率のことではないのである。よって、山岳気象観測データと平地のデータから算出した「気温減率」なるものは、気象学的な意味においては気温減率とは言えず、むしろその場所においてユニークな「地上気温減率」とでも呼ぶべきものということになる。

例えば、青山・岡（1989）のような自由大気の高層気象観測データを基礎とする研究は合理的であり、その結果から理論的な推論を行うことが可能である。一方、大森・柳町（1988）の方法論は、本質はふまえていると思われるが、気温減率を明確に定義しないまま使用しており、若干の疑問が生じる。この種の研究の気候学的な基礎としてよく引用される吉野（1986）のテキストでは、「気温減率」は気象学的な意味において使用されている（例えば、pp. 135-137）。

最後に、山地の気温分布に注目した場合の研究の問題点を明確にしておく。理想としては、平地から山頂部までの地上気温分布を、地形の凹凸のスケールに適合した分布密度の気温観測網によって長期間直接観測したい。しかし、これは莫大な費用を要するため現実的ではない。そこで、次善の策としてこれまでに多くの研究者が行ってきた観測に欠落している部分があることを示し、かつそれを補

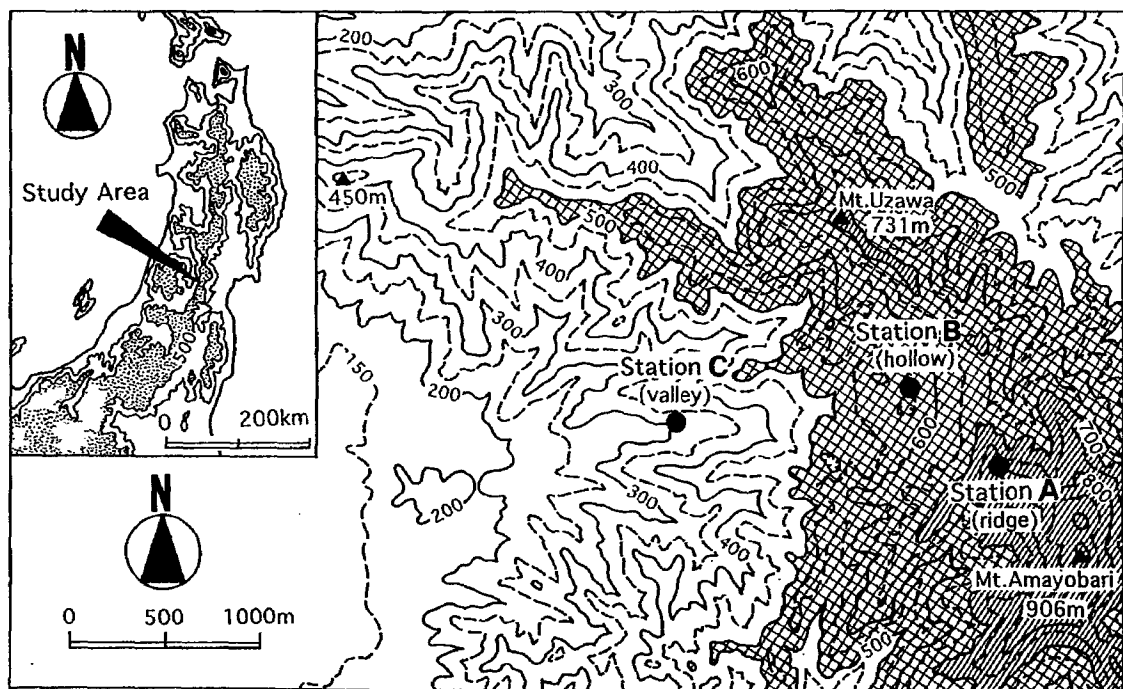
填する方法を考えたい。

平地における地上気温は、気象官署によるデータがそのまま使用可能である。また、山頂・稜線においては若干の観測所データと主として地形学者が先鞭をつけた自動観測データがある。しかし、任意地点の地上気温の推定には基本原理として気温減率が使用されており、それは自由大気のものか、あるいは局地的な影響を強く受けた〈山頂（稜線）－平地（山麓）〉間の「気温減率」である。森林限界などの自然地理学的現象は山地の中腹に観察されることも多い。ところが、不思議なことに山地の中腹の気温観測データを重視したものはほとんどない。第4章以降では、山地中腹の気温が、自由大気または山頂－山麓間の気温減率からは推定困難であることを示す。

4. 奥羽山脈南西部における地上気温観測

1) 観測地域および観測方法

第1図に観測地域の概要を示す。これまでに述べてきたように山地気候研究の今後の課題は、突出した高山の山頂ではなく、その中腹やいわゆる低山における観測的調査にある。そこで本研究では東北山地（奥羽山脈）南西部の標高1000 m内外の地域を取り上げた。観測地域は、山形・宮城県境の蔵王山と御所山（船形山）の中間に位置し、主稜線から西に派生する雨呼山（906 m）北部の西側斜面を選んだ。



第1図 観測地域概念図（山形県天童市・山形市の一部）

黒丸は温度計設置場所、左上の地図の500 m より高い等高線は省略

東北地方における山地気候の地理学的研究

観測地の地形は、三方を急斜面に囲まれ西に開いた直径 2 km 程度の馬蹄形の谷を成しており、古い時代の山体崩壊の跡と思われる。急斜面からは、その後も地滑り性の小規模な崩壊が発生したらしく、最大で長径 500 m 程の凹地が、崩落したブロックと山体斜面の間に数か所形成されている（例えば第 1 図の Station B 付近）、馬蹄形部の西端から、谷は急斜面で 100 m 程落ち、扇状地となって山形盆地に続いている。

稜線付近にはミズナラ・ブナを主体とする落葉広葉樹が残存しているが、それ以外はスギ、カラマツの植林である。散在する凹地の底は植林されずに広葉樹の低木林、草地または部分的に裸地となっていることが多い。

この谷で、コーナシステム社のデータロガー（KADEC-U）とサーミスタ温度計によって地上気温を測定した。感温部には、表裏ともに白色に塗った直径 6 cm のポリエチレン製試薬瓶の首を切断し逆さにしたシェルターをかぶせた。通風はしていないが、風通しを良くするため 2 cm 四方の穴を 4 箇所設け、感温部はシェルター内部の中央に位置するように白色ビニール被覆の針金で吊っている。これを胸高直径約 30 cm の樹幹の北側に、地上 150 cm の高さで固定した。

観測は 3 地点で行った（第 1 図参照）。Station A は雨呼山山頂の北西側主稜線上の標高 785 m の小ピークを西に 2 m ほど下った斜面のミズナラの樹幹である。Station B は馬蹄形の谷の上部にあるこの付近最大の凹地底（最低部ではない）のミズナラの樹幹に設置した。この凹地の最低部は直径 50 m ほどの掘り針状にへこんでおり、植生の逆転現象が認められ「高山植物」が分布しているため天童市の天然記念物に指定されている。これは「風穴の植生」とされているようだが、その大きさを考えれば夏季に吹き出す冷気によって低温が維持されるはずもなく、単なる冷氣湖によるものであろう。また、Station C は標高 300 m の谷底で、植林地のスギの樹幹である。

2) 1992年秋の観測

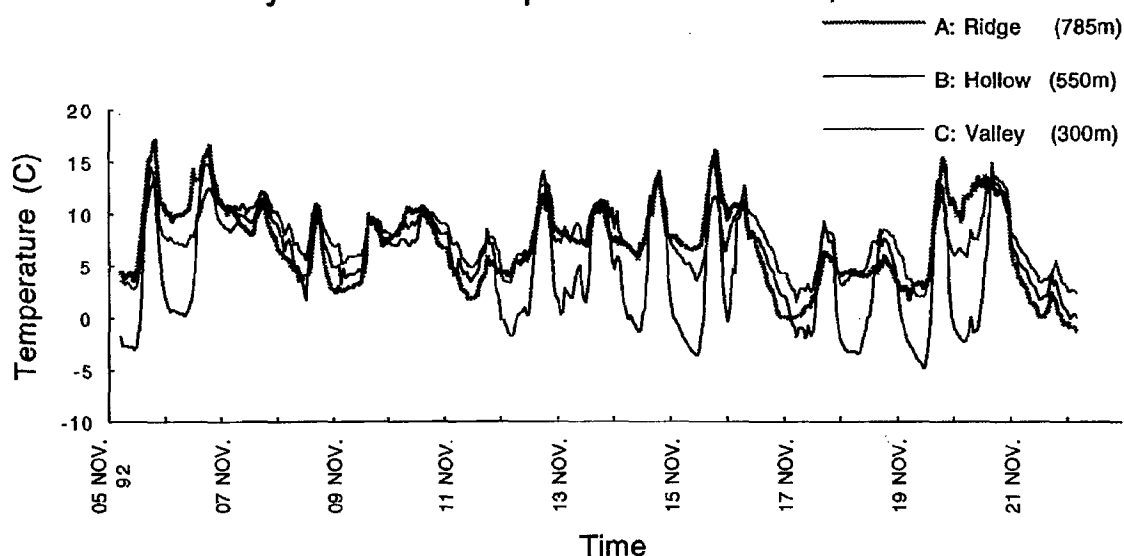
一回日の観測を 1992 年晩秋の 11 月 5 日から 21 日にかけて実施した（第 2 図：毎正時の気温のプロット）。観測のねらいは山地中腹の凹地に出現するはずの顕著な冷氣湖を捉えることである。図中に黒実線で示したグラフが Station B の凹地であり、夜間から早朝にかけて稜線の Station A より 10°C 近く低温であることが明瞭に出ている。この顕著な気温逆転は、本論文の前半に記したように、その場の放射冷却の他に斜面からの冷気の涵養がもたらすものである。よって曇天・雨天かつ強風時にはこの関係は解消される。例えば、低気圧が次々に通過して悪天をもたらした 11 月 7 日から 11 日は、極めて弱い逆転が短時間に認められるに過ぎない。また、Station B 近傍の凹地最低部は、前述のように掘り針状で深さも 20 m 程度はあるため、おそらく更に低温であろう。

このように、秋季における山腹の凹地（または谷底）の低温は、平地および山頂部の気温データから「気温減率」によって推定することは難しい。

3) 1993年夏の観測

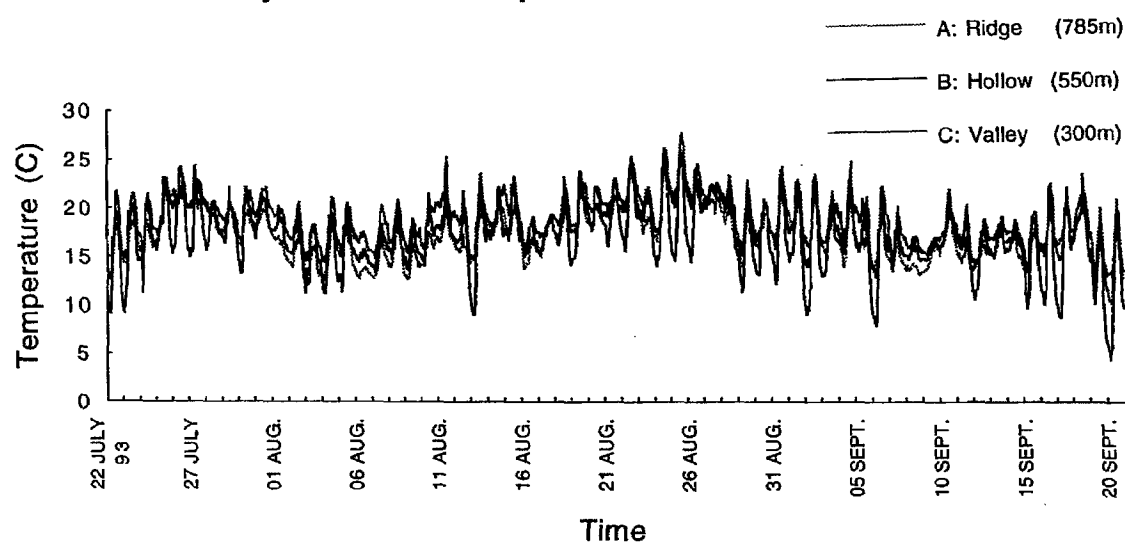
1993 年の夏は、東北地方が記録的冷害に見舞われるほどの不順な天候であった。盛夏期の状況を把握するために観測を行ったが、特に 8 月中は曇天・雨天の連続で目的を果たしたとは言えない。観測期間は 1993 年 7 月 22 日から 9 月 21 日までで、前回と同じ地点に同じ測器を設置した。第 3 図が

•Hourly Surface Temperature: Autumn,1992



第2図 雨呼山北西斜面における地上気温変化 (1992年11月5日～11月21日)

•Hourly Surface Temperature : Summer,1993



第3図 雨呼山北西斜面における地上気温変化 (1993年7月22日～9月21日)

その結果である。

Station B の凹地 (黒実線) が所々で早朝にかなりの低温を記録しており, Station A の稜線とは気温が逆転している。8月12日や9月2日などが好例である。このような日は, 東北地方南部は概ね

東北地方における山地気候の地理学的研究

表 雨呼山北西斜面における日平均地上気温と気温減率

観測期間 と日数	日平均気温の観測期間平均 (°C)			日平均気温による気温減率 の平均 (°C/100m)	同左 標準偏差	Station B の 推定気温	同左の実測値 との差
	Station A	Station B	Station C				
1992年秋 16日	6.3	3.3	7.1	0.17	0.32	6.7	+3.4
1993年夏 61日	17.3	17.2	18.9	0.32	0.18	18.1	+0.9

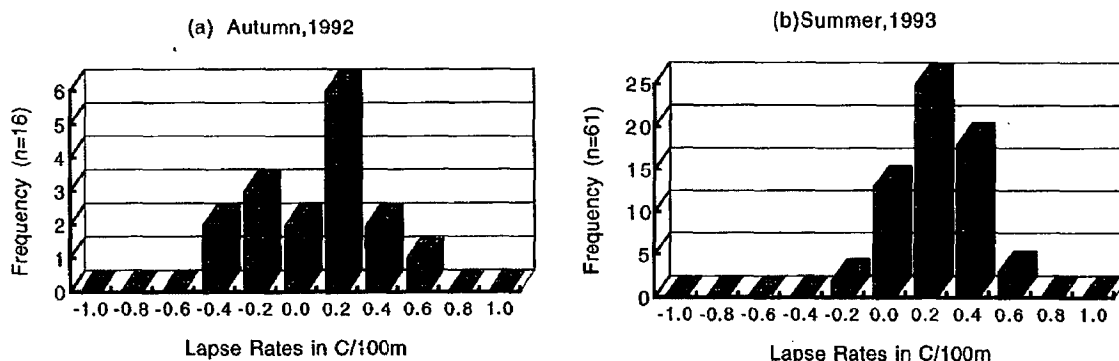
晴天であった。特殊な夏ではあったが、夏季にも晴天夜間には中腹の凹地や谷にかなり明確な冷氣層が形成される可能性がある。この点に関しては、機会を改めて観測を行いたい。

4) 地上気温による「気温減率」の検討

地上気温から求めた「気温減率」および自由大気の気温鉛直分布から求めた気温減率は、データがない現実の山地の任意の地点の気温推定に広く応用されている。その技術的側面は、方法論に対する批判が十分に行われないうまま徐々に精緻さを深めている。今後、GISの導入と共に推定気温の「自動図化」が進行し、関連諸分野への情報提供という形で、肝心の問題点は棚上げされたまま埋没してしまう危険がある。そこで本論の最後に、気温減率による地上気温推定が、第一近似としてさううまく機能しない可能性があることを示したい。

今回の観測では谷の出口には測定点を設置できなかったため、代わりに Station C の標高300 m 地点のデータを山麓部の基準データと考えることにする。盆地からは扇状地を上り詰めて標高差150 m ほどの地点である。ここと稜線の Station A (標高785 m) の気温から気温減率を計算し、中間の Station B (標高550 m) の地上気温を推定してみる。結果は表にまとめたが、当然のこととして中腹や凹地や谷に形成された冷氣湖の影響は出ないから、推定値は実測値より高い気温となる。1992年秋の場合は3.4°C、1993年夏も参考まで記すと0.9°Cほど高い値となってしまう。よって、従来の諸研究における山頂付近の気温推定にはかなりの妥当性が保証されているものの、それを広域や山腹にま

●Histogram of Daily Lapse Rates between Stations A and C



第4図 雨呼山北西斜面における日平均地上気温減率の階級別頻度

2 地点間の標高差485 m (Station A は785 m, Station C は300 m) 横軸の数値は各階級の下限を示す (「-0.2」は-0.2以上0.0未満)

で拡張すると、もはや「第一近似」さえ成立しなくなる可能性がある。

第4図は今回の観測値から日平均気温（午前1時から始まる毎正時24回の算術平均）を求めて作成した気温減率の 0.2°C ごとのヒストグラムである。秋の観測（左）では負の気温減率にもピークがあり、基本データとして取り込まれていない中間点の地上気温を推定することの難しさを物語っている。異常天候の夏（右）はピークが一つになるものの、負の値も出ている。単に「秋のような日」があったのかも知れないが、稜線から平地に至る地表に沿った地上気温分布現象が、「気温減率」という概念では捉えきれない複雑さを持つことを示しているのかも知れない。

5. まとめ

山地気候に関するこれまでの諸研究をふりかえり、特に山地の地上気温について次のような問題点を指摘した。先行研究の多くは、地形・植生などとの関わりから高山または山頂・稜線部に注目していた。その後、従来から適用されてきた「気温減率」法による山地全体の気温推定を行う研究が進みはじめた。しかし、山麓低地と山頂部の地上気温を使った場合はもちろんのこと、自由大気の気温減率を使った場合でさえ、山地全体の「地上気温」を推定することには、理論的に無理が生じる。なぜなら特に山腹に存在する地形の凹部である谷や凹地には局地的な低温部が出現し、それは「気温減率」法では推定不可能だからである。

これを示すために、奥羽山脈南西部の凹地を山地中腹にもつ谷で観測を行い、凹地では夜間に冷気湖の形成によって、約250 mの標高差がある稜線部と 10°C 近い温度差（逆転）が出現することを確認した。さらに、合計77日間の毎時気温データから〈稜線－山麓の谷〉間の「気温減率」を求め、そこから推定した中腹の平均地上気温が実測値よりかなり高くなることを示した。

測器使用の都合から、冬季・春季（積雪期）の観測は行っていない。また、盛夏期の観測は異常天候のため代表性に乏しいと思われる。今後は気象官署を含む観測網で面的なデータを補い、地形因子・植生分布などを加味した統計モデルによる検証を基礎として、「気温減率」法の根本的な改良を行いたい。

参 考 文 献

- 青山高義, 1984: 猪苗代盆地湖北地方に夜間発達する逆転層と風系について. 山形大学紀要 (自然科学), 11, 109-119.
- , 1986: 東北日本の温度気候環境. —暖かさの指数・寒さの指数—. 「東北地方における盆地の自然環境論的研究 (山形大学特定研究経費研究成果報告書)」, 39-45.
- ・岡 秀一, 1989: 任意地点の温量指数の推定方法について. 東北地理, 41, 160-165.
- 今西錦司, 1933: 日本アルプスの雪線に就いて. 山岳, 28, 193-282, (今西錦司, 1969: 『日本山岳研究』, 中央公論社, に再録されたもの)
- 梅本 亨, 1989: ハケ岳・稲子岳凹地底のハイマツ群落と冷気湖—凹地研究会の観測—. 日本地理学会予稿集, 35, 176-177.

東北地方における山地気候の地理学的研究

- 太田岳史, 1992: 森林内外における積雪面上の純放射量の推定と表層融雪量. 水文・水資源学会誌, 5, 19-26.
- 大森博雄・柳町 治, 1988: プナ林帯上限および下限の温度領域と更新世末期から完新世中期にかけての夏季気温変化. 第四紀研究, 27, 81-100.
- , 1990: 東北地方山岳地域における主要樹種垂直分布の上限, 下限の温度領域と古気温の推定に有効な樹種. 地理学評論, 63A, 100-118.
- 岡 秀一, 1980: 富士山におけるカラマツの偏形とその形成要因について. 地学雑誌, 89, 97-112.
- , 1991: わが国山岳地域における森林限界高度の規定要因について. 地学雑誌, 100, 673-696.
- 黒瀬義孝・林 陽生, 1993: 四国地域を対象にした熱画像情報による冬期・放射冷却条件下の気温分布の把握. 農業気象, 49, 11-17.
- 近藤純正・中國 信・渡辺 力・桑形恒男, 1992: 日本の水文気象 (3)—森林における蒸発散量—. 水文・水資源学会誌, 5, 8-18.
- 澤口晋一, 1992: スピッツベルゲンおよびわが国の高山・山地における凍結融解による斜面物質移動. 地理学評論, 65A, 92-104.
- 柴田 治, 1985: 『高地植物学』, 内田老鶴圃.
- 鈴木啓助・青山高義・岡 秀一・日原高志・田中良雄, 1985: 夜間の谷における気温の周期的変化について. 東北地理, 37, 293-298.
- 須田芳彦, 1990: 山間部において夜間の風向を決定している地形スケール. 天気, 37, 343-350.
- 曾根敏雄・高橋伸幸, 1988: 1985年通年気象観測値からみた大雪山の気候環境. 東北地理, 40, 237-246.
- 樋口雅夫, 1990: 鳳凰山の頂稜部砂礫地における凍結・融解期の気温および地温の変化. 地理学評論, 63A, 154-165.
- 松岡憲知, 1991: 年平均気温から地盤の最大凍結・融解深度を推定する方法. 地理学評論, 64A, 347-357.
- 松岡延浩・山崎憲章・中山敬一・今 久・谷 宏, 1992: 人工衛星データを利用した夜間冷却の評価. 農業気象, 48, 277-283.
- 吉野正敏, 1986: 『新版 小気候』, 地人書館.
- Allwine, K. J. and B. K. Lamb, 1992: Wintertime dispersion in a mountainous basins at Roanoke, Virginia: Tracer study. *Journal of Applied Meteorology*, 31., 1295-1311.
- Aoyama, T., 1985: The orographic effects on precipitation distribution in Tirol, Austria. *Geographical Review of Japan*, 58B, 172-184.
- Barry, R. G., 1992: *Mountain Weather and Climate*, 2nd edition, Routledge, 402pp.
- Bell, G. D. and L. F. Bosart, 1988: Appalachian cold-air damming. *Monthly Weather Review*, 116, 137-161.
- Bücher, A. and J. Dessens, 1991: Secular and trend of surface temperature at an elevated observatory in the Pyrenees. *Journal of Climate*, 4, 859-868.
- Coulter, R. L., J. M. Timothy and W. M. Porch, 1991: A comparison of nocturnal drainage flow in three tributaries. *Journal of Applied Meteorology*, 30, 157-169.
- Eguchi, T., 1991: Moisture condition of midland dry valleys in Bhutan. *Life Zone Ecology of the Bhutan Himalaya II*, (Chiba Univ.), 21-39.
- Gudiksen, P. H., J. M. Leone, Jr., C. W. King, D. Ruffieux and W. D. Neff, 1992: Measurements and modeling of the effects of ambient meteorology on nocturnal drainage flows. *Journal of Applied Meteorology*, 31, 1023-1032.
- Hevesi, J. A., J. D. Istok and A. K. Flint, 1992a: Precipitation estimation in mountain terrain using multivariate geostatistics. Part I: Structural analysis. *Journal of Applied Meteorology*, 31, 661-676.
- , A. L. Flint and J. D. Istok, 1992b: Precipitation estimation in mountain terrain using multivariate geostatistics. Part II: Isohyetal maps. *Journal of Applied Meteorology*, 31, 677-688.

- Kondo, J., T. Kuwagata and S. Haginoya, 1989: Heat budget analysis of nocturnal cooling and daytime heating in a basin. *Journal of the Atmospheric Sciences*, **46**, 2917-2933.
- Levin, Z., G. Feingold and S. Tzivion, 1991: The evolution of raindrop spectra: Comparisons between modeled and observed spectra along a mountain slope in Switzerland. *Journal of Applied Meteorology*, **30**, 893-900.
- McCutchan, M. H. and D. G. Fox, 1986: Effect of elevation and aspect on wind, temperature and humidity. *Journal of Climate and Applied meteorology*, **25**, 1996-2013.
- Moore, G. E., C. Daly and M. K. Liu, 1987: Modeling of mountain-valley wind fields in the southern San Joaquin Valley, California. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, **26**, 1230-1242.
- Orgill, M. M., J. D. Kincheloe and R. A. Sutherland, 1992: Mesoscale influences on nocturnal valley drainage winds in western Colorado Valleys. *Journal of Applied Meteorology*, **31**, 121-141.
- Porch, W. M., S. Barr, W. E. Clements, J. A. Archuleta, A. B. Fernandez, C. W. King, W. D. Neff and R. P. Hosker, 1989: Smoke flow visualization in a tributary of a deep valley. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **70**, 30-35.
- , W. E. Clements and R. L. Coulter, 1991: Nighttime valley waves. *Journal of Applied Meteorology*, **30**, 145-156.
- Reiter, E. R., J. D. Sheaffer, J. E. Bossert, R. C. Fleming, W. E. Clements, J. T. Lee, S. Barr, J. A. Archuleta and D. E. Hoard, 1987: ROMPEX—The Rocky mountain peaks experiment of 1985: Preliminary assessment. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **68**, 321-328.
- Rogers, D. C. and G. Vali, 1987: Ice crystal production by mountain surface. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, **26**, 1152-1167.
- Shiraiwa, T., 1992: Freeze-thaw activities and rock breakdown in the Langtang Valley, Nepal Himalaya. *Environmental Sciences*, Hokkaido University, **15**, 1-12.
- , T. Sawagaki, 1992: A preliminary report on the air temperature in Reindalen, west Spitsbergen. *Bulletin of Glacier Research*, **10**, 91-97.
- Smith, E. A. and L. Shi, 1992: Surface forcing of the infrared cooling profile over the Tibetan Plateau. Part I: Influence of relative longwave radiative heating at high altitude. *Journal of Atmospheric Sciences*, **49**, 805-822.
- Tabony, R. C., 1985: The variation of surface temperature with altitude. *Meteorological Magazine*, **114**, 37-48.
- Tomine, K., 1990: Influences of the Hidaka Mountain Range on surface temperature at the mountain feet, Hokkaido, Japan. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, **68**, 491-497.
- Vergeiner, I., E. Dreiseitl and C. D. Whiteman, 1987: Dynamics of katabatic winds in Colorado's Brush Creek Valley. *Journal of the Atmospheric Sciences*, **44**, 148-157.
- Xu, Q., 1990: A theoretical study of cold air damming. *Journal of the Atmospheric Sciences*, **47**, 2969-2985.
- Yamakawa, S., 1981: Climatological study of cold frontal precipitation in Japan. *Geographical Reports of Tokyo Metropolitan University*, **16**, 67-78.
- Yamazaki, T. and J. Kondo, 1992: The snowmelt and heat balance in snow-covered forest areas. *Journal of Applied Meteorology*, **31**, 1332-1327.
- Yanai, M. C. Li and Z. Song, 1992: Seasonal heating of the Tibetan Plateau and its effects on the evolution of the Asian summer monsoon. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, **70**, 319-351.

(うめもと とおる)